

УДК 665.64

**Проблема «несовместимости» при компаундировании нефтей
в процессах добычи, сбора, подготовки и транспортировки
углеводородного сырья**

О. П. Дерюгина*, Е. А. Трапезников

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

**e-mail: derjuginaop@tyuiu.ru*

Аннотация. В статье рассматривается вопрос о промышленном компаундировании, улучшающем качество поступаемого в магистральные трубопроводы сырья. Компаундирование от английского «compound» — смешивать. При смешении различных видов нефтей возможна «несовместимость», выражающаяся в выпадении твердого осадка и нарушении стабильности коллоидной системы и обусловленная различающимися свойствами нефтей. Внимание к названной проблеме объясняется ужесточением в настоящее время требований к качеству поступаемого на переработку сырья, которое должно соответствовать современным стандартам. В статье также обсуждаются причины возникновения проблемы «несовместимости» нефти при компаундировании и эффективные пути ее решения. Обоснована необходимость предварительного исследования свойств смешиваемой нефти с целью выявления возможной несовместимости различных сортов нефти. Рассмотрены стандартные тесты для определения индексов несовместимости, характеризующих способность сырья к смешению. Обосновывается необходимость развития методов диагностики несовместимости нефтей как важнейшей задачи современной химической науки, решение которой позволит повысить качество получаемого сырья и решить многие технологические проблемы в процессе компаундирования.

Ключевые слова: компаундирование нефти; потеря объема получаемых при компаундировании нефтепродуктов; асфальтены; критерии несовместимости нефтей

**The issue of "oil shrinkage" during the compounding of oils in the processes
of production, collection, preparation and transportation
of hydrocarbon raw materials**

Olga P. Deryugina*, Evgeny A. Trapeznikov

Industrial University of Tyumen, Tyumen

**e-mail: derjuginaop@tyuiu.ru*

Abstract. The article discusses the issue of industrial compounding, which improves the quality of the raw materials supplied to the main pipelines. Compounding from "to compound" (English) - to mix. When mixing different types of oil obtained, "incompatibility" is possible, which is expressed in the precipitation of a solid sediment and violation of the stability of the colloidal system and due to the differing properties of oils. Attention to this problem is due to the tightening of requirements for the quality of raw materials that must comply with modern standards. The article discusses the causes of the problem of "incompatibility" of oil

during compounding and effective ways of solving it, substantiates the need for a preliminary study of the properties of mixed oil in order to identify possible incompatibility of various types of oil. The standard tests for determination of incompatibility indices characterizing the ability of raw materials to mix are considered. The article substantiates the need to develop methods for diagnosing the incompatibility of oils as the most important task of modern chemical science, the solution of which will improve the quality of the raw material obtained and solve many technological problems in the compounding process.

Key words: oil compounding; volume loss of oil products obtained during compounding; asphaltenes; oil incompatibility criteria

Введение

Нефть в качестве энергоресурса занимает сегодня по-прежнему одно из лидирующих мест. Потребность человечества в ней, в ее высоком качестве больше, чем в других энергоресурсах. Нефтяные компании во всем мире добывают сырье на индивидуальных по свойствам месторождениях. Затем они продают его на различные по мощности и оснащенности нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ), которые, в свою очередь, разделяют нефть на фракции и производят из нее в конечном итоге товарный продукт с использованием вторичных процессов переработки. При этом важно сказать, что добываемая нефть может полностью отличаться по своим свойствам (плотность, вязкость, содержание серы, давление насыщенных паров (ДНП), содержание механических примесей) от нефти, добытой на другом месторождении. Кроме того, нефть, полученная из одного месторождения, но из разных скважин, также может различаться по своему химическому составу. Поэтому перед тем как отправить сырье в магистральный нефтепровод, нужно, учитывая все свойства сырья, правильно подготовить его на промысле, довести качество до нужных требований. Одним из этапов такой подготовки является компаундирование.

Объект исследования

В качестве объекта исследования выбран процесс компаундирования нефти. Компаундирование нефти — это операционно-сложный процесс управляемого смешения нефти. С помощью компаундирования решается важная задача применения высоко-загрязненной добытой нефти в общем магистральном нефтепроводе. Процесс компаундирования позволяет поддерживать качество поставляемых нефтепродуктов в заданных величинах и тем самым гарантирует регулярные поставки на рынок. Есть варианты смешения: нерегулируемое и регулируемое. При использовании нерегулируемого смешения параметры нефтяного сырья в потоке будут различаться в небольшом диапазоне из-за применения различных режимов перекачки. Использование же регулируемого смешения сгладит неустойчивость параметров с помощью добавки нефти с высоким содержанием примесей в поток сырья лучшего качества на тех направлениях, где имеется запас качества [1].

Компаундирование нефтей с разных месторождений может проходить на всех стадиях добычи, начиная от сбора и заканчивая транспортировкой углеводородного сырья. При этом, когда происходит проектирование уста-

новок сбора, подготовки нефти, в расчеты часто заносят или усредненные показатели, или просто показатели одной нефти, предполагаемое количество добычи которой было бы наибольшим. Такое решение является неверным, так как у характеристик нефтяных смесей нет определенных зависимостей [2].

Компаундирование также может осуществляться сразу в скважине, использующей несколько пластов, нефть в которых различается по своим характеристикам. В процессе смешения главными физико-химическими параметрами смеси являются вязкость и плотность. Благодаря показателям вязкости можно судить о том, какие потери происходят на трении в подъемнике, в насосной установке. Зная параметры плотности, можно определить глубину спуска насосного оборудования, устьевое давление, необходимое для добычи нефтяной эмульсии. Учет основных характеристик, образующихся после компаундирования нефтей, позволяет в дальнейшем оптимально подбирать необходимое оборудование для максимально эффективной работы скважины [3, 4].

Компаундирование может проходить и на установках добычи нефти, на дожимных насосных станциях, в трубопроводах, находящихся внутри промысла. Для того чтобы правильно провести технологические расчеты трубопроводов, важно знать основные характеристики качества перекачиваемой продукции. Это условие необходимо учитывать для того, чтобы обеспечить правильную эксплуатацию внутрипромысловых трубопроводов, так как сама их сеть может достигать 30 тыс. км (Ромашкинское месторождение). При неточностях или ошибках в технологических расчетах и проектировании возможны нежелательные издержки энергопотребления и режимы работы насосов вне зоны их максимального коэффициента полезного действия (КПД) [5].

Процесс управляемого смешения нефти или компаундирование является обязательным процессом в технологии подготовки нефти к поставке на рынок, поскольку он позволяет довести нефть до нужных показателей, следовательно, соответствовать заявленным характеристикам.

Проблема «несовместимости» нефтей при компаундировании

Издержки процесса компаундирования и сегодня являются не до конца изученными. Первыми, кто обратил внимание на невозможность смешения некоторых видов нефтей, были зарубежные ученые. До этого времени проблему «несовместимости» нефтей и выпадения твердых осадков при их смешении связывали только с производством продуктов нефтепереработки. Само понятие «несовместимость» впервые было предложено в 1951 году Мартином (W. G. Martin) для пояснения ситуации, которая произошла во время смешения двух стабильных топлив [6]. В процессе компаундирования получилась смесь с ненужными образованиями. Отличительным свойством данной смеси было выпадение твердого осадка.

В дальнейшие годы было проведено большое количество исследований на тему «несовместимости». Одно из них было представлено в статье американских ученых Холмса и Буллина (J. W. Holmes, J. A. Bullin), в которой они проводили анализ различных нефтепродуктов [7, 8]. Состав исследованных ими веществ приведен в таблице 1.

Таблица 1

Состав нефтепродуктов

Нефтепродукт	Парафины, масс. %	Асфальтены, масс. %	Ароматика, масс. %
1	41	16	46
2	0	81	19
3	0	60	40
4	0	83	17
5	0	60	40

Было рассмотрено также компаундирование этих сортов с растворителями углеводородного типа. Выявленные несовместимости приведены в таблице 2.

Таблица 2

Признаки несовместимости при компаундировании

Смесь сортов	Выражение «несовместимости»
1–2–3	Полная несовместимость. При компаундировании происходит образование большого количества твердых осадков
1–2 1–3 1–4 1–5	Значительная несовместимость в некоторых смесях
1– н-гептан	В смеси с концентрацией гептан/топливо = 1,6/1 происходит осаждение мелкого, рыхлого порошка. При концентрации гептан/топливо = 2,2/1 от 5 до 10 % смеси выпадает в виде смолистого осадка
2 – н-гептан 3 – н-гептан 4 – н-гептан 5 – н-гептан	Проявления «несовместимости» отсутствуют. Осадок не образуется ни при каких составах смесей

Благодаря вышеописанным исследованиям удалось установить, что при компаундировании топлив с концентрацией асфальтенов от 3 до 5 % будет наблюдаться формирование смолистых осадков.

Вопросы «несовместимости» при компаундировании сырых нефтей стали особенно актуальны в 1990 году из-за инцидента с занижением объемов поставляемой нефти, рассмотренного судом Тесоро в США. Проблема заключалась в смешении легкой и тяжелой нефтей при перекачке с танкеров в резервуары, в ходе которой произошла потеря объема. В процессе рассмотрения дела были проведены исследования и доказано уменьшение объема нефти при компаундировании.

Уже в 1996 году в США было опубликовано предписание «Потери объема в результате смешения легких углеводородов с сырыми нефтями». Данный документ подтверждает потери объема при смешении и обязывает проводить проверку смешиваемых нефтей, если их плотность имеет разницу более чем на 40 кг/м³ [9].

Говоря о проблеме потери объема при смешении, можно предположить, что при компаундировании абсолютный объем будет равен сложению объ-

емов перемешиваемых веществ [10]. Но это предположение часто оказывается неверным, так как свойства смешиваемых нефтепродуктов могут значительно отличаться друг от друга, поэтому при компаундировании может произойти уменьшение итогового объема. Такие обстоятельства возникают, например, при совмещении легких и тяжелых топлив. Объем такой смеси может быть меньше абсолютного объема, рассчитанного сложением объемов перемешиваемых веществ.

На сегодняшний день тема уменьшения объема при компаундировании остается открытой и до конца не изученной. При этом причины данного процесса абсолютно ясны: происходит формирование мощных межмолекулярных связей, следствием которого является образование большого количества твердых частиц.

В молекулярном же растворе размеры частиц растворенного вещества достаточно малы, и их размеры сопоставимы с размерами частиц жидкой фазы.

Благодаря данному процессу можно провести анализ уменьшения объема, если предположить, что образовавшиеся твердые частицы, имеющие более высокую плотность, смогут подменять аналогичный объем жидкой смеси (рис. 1).

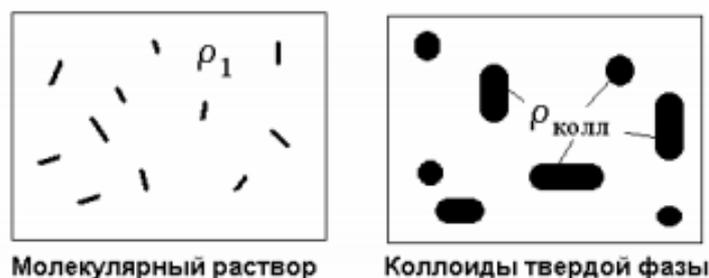


Рис. 1. Сравнение двух систем

Фракция асфальтенов больше всего склонна к образованию коллоидов в нефтяных структурах. Так как массовая доля асфальтенов в тяжелой нефти доходит до 0,2–0,25 (при плотности 900 кг/м³), то, используя формулу

$$\frac{\Delta V}{V} = \varphi \left(\frac{\rho_1}{\rho_{\text{колл}}} - 1 \right),$$

можно определить относительную потерю объема. Она будет составлять 5–7 %. Данный процент в полной мере соотносится с наблюдаемыми величинами. Последствия потери объема могут быть различными, среди них — повышение плотности, обратно пропорциональное относительной потере объема.

Важно также отметить, что при увеличении объема коллоидных частиц может заметно отклоняться показатель вязкости [11]. Значительные расхождения между вязкостью реальных жидкостей и показателями, которые соответствуют моделям идеальных смесей, могут происходить при росте

объемной доли взвешенных коллоидных частиц. При компаундировании «легких» и «средних» реальных нефтей показатель вязкости будет мало отличаться от идеального показателя. В процессе же смешения парафиновых углеводородов с тяжелыми нефтями и битумами в области контакта двух компонентов выпадающие осадки будут образовывать пространственные структуры в объеме образца, которые будут многократно повышать вязкость, вплоть до практического затвердевания в области контакта.

Самые известные признаки «несовместимости» смешиваемых нефтей — образование твердых осадков и нарушение стабильности коллоидной системы. Наибольшее количество исследований последних лет посвящено данным процессам [10, 12, 13].

Методы диагностики «несовместимости» нефтей

Один из самых простых методов — стандартные тесты на «несовместимость» нефтей при смешении. Данный способ дает возможность выявить несовместимость в уже приготовленной смеси нефтепродуктов, а именно количественно охарактеризовать выпадение твердых коллоидов.

В качестве примера можно привести тест, в основе которого лежит метод титрования Хейтхауза. В качестве величины, определяющей несовместимость сырья, берется Р-значение. Чтобы найти данную величину, нужно приготовить стандартный раствор исследуемого сырья с растворителем. Оба компонента должны находиться в растворе в строгих соотношениях. После чего к раствору понемногу добавляется парафиновый осадитель, тем самым способствуя переходу асфальтенов, находящихся в растворе, в коллоидное состояние. После добавки осадителя производится капельный тест, с помощью которого фиксируется начало осаждения коллоидов [14, 15].

После проведения теста рассчитывается Р-значение. Если рассчитанный показатель будет равен примерно двум, то можно сделать вывод о том, что в данной смеси будет происходить дестабилизация, она будет несовместима. Если же Р-значение будет равно примерно четырем, то сырье можно признать пригодным к смешению.

Существуют еще две количественные характеристики: толуольный и ксилольный эквивалент. Для определения толуольного эквивалента подготавливается один стандартный раствор.

После приготовления в него в небольшом количестве добавляется парафиновый осадитель [16]. Далее с помощью полученных объемов растворителя и осадителя находится толуольный эквивалент по формуле

$$T.EQ. = [V_{\text{тол}} / (V_{\text{тол}} + V_{\text{гепт}})] \cdot 100 \%$$

Для определения ксилольного эквивалента методика расчета будет схожа с вышеописанной. Отличие будет лишь в разности растворителя.

Еще один метод оценки потенциальных проблем при компаундировании был предложен фирмой Baker Petrolite. Данной компанией предложено использование теста, целью которого является определение индекса стабильности асфальтенов ASI.

Целью теста является определение пропускания инфракрасного излучения через исследуемый образец нефти. К исследуемой нефти понемногу добавляется осадитель асфальтенов, после чего отмечается зависимость интенсивности проходящего излучения от общего объема пентана в исследуемом образце Vп/Мн [17, 18].

Данная зависимость регистрируется на графике. Значение Vп/Мн будет соответствовать точке перегиба графика и будет называться «индексом стабильности асфальтенов» ASI [19, 20]. Если после проведения теста индекс исследуемого нефтепродукта будет больше необходимых 2,5, то нефть можно считать пригодной к смешению; если индекс будет меньше, то продукт можно считать непригодным к компаундированию.

В качестве более простого метода определения несовместимости также используется индекс, получаемый в результате определения концентрации асфальтенов (АС) и смол (С). Если в ходе расчета полученный результат будет превышать значение 0,35, то компаундирование будет невозможным из-за высокой вероятности возникновения проблем при проведении процесса.

В нескольких статьях, посвященных изучению проблем несовместимости при компаундировании, упоминается величина под названием «индекс загрязнения» FI. Рассчитывается данный индекс делением суммарного количества ароматики в смеси на определяемую концентрацию асфальтенов в той же смеси. Считается, что смешение нефтепродуктов с показателем FI меньше 0,88 будет неблагоприятным, так как начнется образование нежелательных твердых осадков.

Другим известным критерием несовместимости считается индекс нестабильности коллоидов. Его обозначение Ic. Значения этой величины находят с использованием концентраций высокомолекулярных компонентов нефти, смол и алканов.

В работах разных авторов значения индекса нестабильности сильно разнятся. В среднем смесь будет считаться несовместимой при индексе, равном 1,2, а пригодна к смешению будет при индексе 0,5.

При этом у индекса загрязнения и индекса нестабильности есть один недостаток. Для правильного определения несовместимости продуктов требуется очень точное определение фракционного состава компонентов, подвергаемых смешению.

В 2000 году в качестве замены вышеописанных методов был предложен новый тест несовместимости, основанный на двух параметрах: число растворимости смешения и число нерастворимости при смешении. Достоинствами данного метода считаются относительно небольшое время проведения теста и независимость от точного определения концентрации веществ в смешиваемых компонентах. Более детальный обзор данного метода можно найти в нескольких патентах [11, 21].

Развитие методов диагностики несовместимости нефтей является важнейшей задачей современной химической науки, так как предварительное исследование свойств смешиваемых нефтей позволит повысить качество получаемого сырья и решить многие технологические проблемы в процессе компаундирования.

Выводы

Подводя итоги, можно сказать, что компаундирование — важнейший процесс в нефтеперерабатывающей промышленности. Эта технология широко применяется на этапах добычи, транспортировки, переработки нефти для достижения различных целей. У данного процесса имеется специфическая проблема несовместимости нефтей. На сегодняшний день существуют варианты решения данной проблемы, начиная со стандартных тестов на несовместимость, заканчивая вычислениями эмпирических критериев предполагаемой несовместимости. Необходимо не пренебрегать вопросом несовместимости добываемых нефтепродуктов, так как это может стать причиной неэффективности технологического процесса (завышенное энергопотребление, ошибки в режиме работы установок, в объемах получаемого сырья).

Библиографический список

1. Яворский, Д. О. Повышение качества процесса компаундирования нефти / Д. О. Яворский. – Текст : непосредственный // Качество продукции : контроль, управление, повышение, планирование. Сборник научных трудов 7-й Международной молодежной научно-практической конференции. В 3 томах / Отв. ред. Е. В. Павлов. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 427–430.
2. Молчанов, Г. В. Машины и оборудование для добычи нефти и газа / Г. В. Молчанов, А. Г. Молчанов. – Москва : Недра, 1984. – 464 с. – Текст : непосредственный.
3. Мозырев, А. Г. Компаундирование нефти с газовым конденсатом в целях снижения кинематической вязкости нефти для сдачи в магистральные нефтепроводы / А. Г. Мозырев, Е. В. Нагорнова, О. О. Майорова. – Текст : непосредственный // Образование, наука и технологии : актуальные вопросы, инновации и достижения : сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции (Москва, 30 апреля 2020 года). – Москва, 2020. – С. 282–287.
4. Патент. Российская Федерация, RU 2248031 С2. Система управления процессом компаундирования нефтей по нескольким параметрам качества : № 2003101827/28 : заявл. 23.01.2003 : опубл. 10.03.2005 / Гареев М. М., Нагаев Р. З., Евлахов С. К. : патентообладатель ОАО «Урало-Сибирские магистральные нефтепроводы им. Д. А. Чернышева». – Текст : непосредственный.
5. Галлямов, И. И. Неразрушающий контроль и техническая диагностика внутрипромысловых подземных трубопроводов с поверхности земли / И. И. Галлямов, Л. Ф. Юсупова. – Текст : непосредственный // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2014. Сборник трудов международной научно-технической конференции, г. Октябрьский, 14 марта 2014 г. / Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа : Аркан, 2014. – С. 80–87.
6. Martin, W. G. The Stability and Compatibility of Fuel Oils / W. G. Martin. – Текст : непосредственный // 3rd World Petroleum Congress (May 28–June 6, 1951). The Hague. Proceedings. Section VII. Utilization of Oil Products. – The Netherlands, 1951. – P. 66–75.
7. Glenn, N. Evaluation of an Octane Analyzer / N. Glenn. – Текст : непосредственный // American Laboratory News. – 1996 (August).
8. Holmes, J. W. Fuel Oil Compatibility Probed / J. W. Holmes, J. A. Bullin. – Текст : непосредственный // Hydrocarbon Processing. – 1983. – Vol. 62, Issue 9. – P. 101–103.
9. Фесан, А. А. Выявление аномалий плотности смесей нефтей и оценка их влияния на работу нефтепромыслового оборудования : дипломный проект / А. А. Фесан. – Москва, 2013. – 107 с. – Текст : непосредственный.
10. Определение зависимости совместимости нефтей от их фракционного состава / И. А. Белоус, А. А. Котлова, А. В. Кияшко, Ю. А. Очередко. – Текст : непосредственный // Фундаментальные и прикладные проблемы получения новых материалов : исследования, инновации и технологии. Материалы научных трудов XII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Н. М. Алыкова (Астрахань, 24–27 апреля 2018 года) / Под общей редакцией Л. А. Джигола. – Астрахань, 2018. – С. 100–104.

11. United States Patent. No 5997723. Process for blending petroleum oils to avoid being nearly incompatible : Appl. No.: 09/200,067 ; Filed : Nov. 25, 1998 / Wiehe, I. A., Kennedy R. J. Date of Patent : Dec. 7, 1999. – Текст : непосредственный.
12. About the mutual influence of the mixed oils / G. G. Ismayilov, V. H. Nurullayev, M. B. Adigozalova, R. L. Zeinalov. – DOI 10.5281/zenodo.163028. – Текст : непосредственный // International journal of engineering sciences & research technology. – 2016. – Vol. 5, Issue 10. – P. 593–600.
13. Адыгезалова, М. Б. О фрактальных свойствах осаждения балластов при смешении нефтей / М. Б. Адыгезалова. – DOI 10.24411/0131-4270-2020-10406. – Текст : непосредственный // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2020. – №. 4. – С. 34–36.
14. Лосев, А. П. Контроль смешения несовместимых нефтей в процессах транспортировки и хранения спектрофотометрическим методом / А. П. Лосев, М. А. Могильниченко, А. А. Фесан // Трубопроводный транспорт : теория и практика. – Текст : непосредственный. – 2016. – № 4 (56). – С. 42–44.
15. Аникина, Ю. И. Исследование совместимости нефтяных смесей / Ю. И. Аникина, Л. С. Баталина. – Текст : непосредственный // Лучшая студенческая статья 2019 : сборник статей XXI Международного научно-исследовательского конкурса (Пенза, 25 апреля 2019 г.). Сборник трудов конференции. – Пенза, 2019. – С. 43–45.
16. Абрамова, Е. А. Разработка метода оценки стабильности и совместимости судовых топлив / Е. А. Абрамова, Г. В. Шувалов, О. А. Ясырова. – Текст : непосредственный // Гео-Сибирь. – 2011. – Т. 5, № 2. – С. 206–209.
17. Гумеров, Р. Р. Разработка эффективных ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений асфальтенового типа : специальность 05.17.07 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гумеров Рамиль Рустамович ; Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2018. – 124 с. – Текст : непосредственный.
18. Разработка метода предотвращения отложений в процессе хранения и транспортировки нефтей различной природы / А. И. Иванов, В. В. Попов, А. А. Бойцова, В. О. Некучаев. – Текст : непосредственный // Башкирский химический журнал. – 2014. – Т. 21, № 3. – С. 37–41.
19. Сунагатуллин, Р. З. Изучение смеси нефти и газового конденсата для оценки эффективности ее применения в системе трубопроводного транспорта / Р. З. Сунагатуллин, И. И. Хасбиуллин, Ф. С. Зверев. – DOI 10.28999/2541-9595-2020-10-5-506-513. – Текст : непосредственный // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2020. – Т. 10, № 5. – С. 506–513.
20. Тронов, В. П. Механизм образования смолпарафиновых отложений и борьба с ними / В. П. Тронов. – Москва : Недра, 1970. – 190 с. – Текст : непосредственный.
21. United States Patent. No 5871634. Process for blending potentially incompatible petroleum oils : Appl. No.: 763,652; Filed : Dec. 10, 1996 / Wiehe, I. A., Kennedy R. J. Date of Patent : Feb. 16, 1999. – Текст : непосредственный.

References

1. Yavorskiy, D. O. (2020). Povyshenie kachestva protsessa kompaundirovaniya nefiti. Kachestvo produktsii: kontrol', upravlenie, povyshenie, planirovanie. Sbornik nauchnykh trudov 7th Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 3 tomakh. Kursk, Southwest State University Publ., pp. 427-430. (In Russian).
2. Molchanov, G. V., & Molchanov, A. G. (1984). Mashiny i oborudovanie dlya dobychi nefiti i gaza. Moscow, Nedra Publ., 464 p. (In Russian).
3. Mozyrev, A. G., Nagornova, E. V., & Mayorova, O. O. (2020). Kompaundirovanie nefiti s gazovym kondensatom v tselyakh snizheniya kinemacheskoy vyazkosti nefiti dlya sdachi v magistral'nye nefteprovody. Obrazovanie, nauka i tekhnologii: aktual'nye voprosy, innovatsii i dostizheniya: sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Moscow, April, 30). Moscow, pp. 282-287. (In Russian).
4. Gareev, M. M., Nagaev, R. Z., & Evlakhov, S. K. Sistema upravleniya protsessom kompaundirovaniya neftey po neskol'kim parametram kachestva. Pat. RF 2248031 C2. No. 2003101827/28. Applied: 23.01.03. Published: 10.03.05. (In Russian).

5. Gallyamov, I. I., & Yusupova, L. F. (2014). Nerazrushayushchiy kontrol' i tekhnicheskaya diagnostika vnutripro-myslovykh podzemnykh truboprovodov s poverkhnosti zemli. Sovremennyye tekhnologii v neftegazovom dele - 2014. Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, g. Oktyabr'skiy, March, 14. Ufa, Arkaim Publ., pp. 80-87. (In Russian).
6. Martin, W. G. (1951). The Stability and Compatibility of Fuel Oils. 3rd World Petroleum Congress (May 28-June 6). The Hague. Proceedings. Section VII. Utilization of Oil Products. The Netherlands, pp. 66-75. (In English).
7. Glenn, N. (1996). Evaluation of an Octane Analyzer. American Laboratory News, (August). (In English).
8. Holmes, J. W., Bullin, J. A. (1983). Fuel Oil Compatibility Probed. Hydrocarbon Processing, 62(9), pp. 101-103. (In English).
9. Fesan, A. A. (2013). Vyyavlenie anomalii plotnosti smesey neftey i otsenka ikh vliyaniya na rabotu neftepromyslovogo oborudovaniya: diplomnyy proekt. Moscow, 107 p. (In Russian).
10. Belous, I. A., Kotlova A. A., Kiyashko A. V., & Ocheredko Yu. A. (2018). Opredelenie zavisimosti sovmestimosti neftey ot ikh fraktsionnogo sostava. Fundamental'nye i prikladnye problemy polucheniya novykh materialov: issledovaniya, innovatsii i tekhnologii. Materialy nauchnykh trudov XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati N. M. Alykova (Astrakhan, April, 24-27). Astrakhan, pp. 100-104. (In Russian).
11. Wiehe, I. A., Kennedy, R. J. (1999). Process for blending petroleum oils to avoid being nearly incompatible. United States Patent. No 5997723. (In English).
12. Ismayilov, G. G., Nurullayev, V. H., Adigozalova, M. B., & Zeynalov, R. L. (2016). About the mutual influence of the mixed oils. International journal of engineering sciences & research technology, 5(10), pp. 593-600. (In English). DOI: 10.5281/zenodo.163028
13. Adygezalova, M. B. (2020). On the fractal properties of ballast sedimentation during oil mixing. Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons, (4), pp. 34-36. (In Russian). DOI: 10.24411/0131-4270-2020-10406
14. Losev, A. P., Mogil'nichenko, M. A., Fesan, A. A. (2016). Kontrol' smesheniya nesovmestimyykh neftey v protsessakh transportirovki i khraneniya spektrofotometricheskim metodom. Truboprovodnyy transport: teoriya i praktika, (4(56)), pp. 42-44. (In Russian).
15. Anikina, Yu. I., & Batalina, L. S. (2019). Study oil blends compatibility. Luchshaya studentcheskaya stat'ya 2019: sbornik statey XXI Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa (Penza, April, 25). Penza, pp. 43-45. (In Russian).
16. Abramova, E. A., Shuvalov, G. V., & Jasyrova, O. A. (2011). Working out of the method of the estimation of stability and compatibility ship mineral oil. Geo-Siberia, 5(2), pp. 206-209. (In Russian).
17. Gumerov, R. R. (2018). Razrabotka effektivnykh ingibitorov asfal'tosmoloparafिनovykh otlozheniy asfal'tenovogo tipa. Diss. ... kand. tekhn. nauk. Ufa, 124 p. (In Russian).
18. Ivanov, A. I., Popov, V. V., Boytsova, A. A., & Nekuchaev, V. O. (2014). Research into the causes and control of sediment during storage and transportation of oil of various nature. Bashkir chemical journal, 21(3), pp. 37-41. (In Russian).
19. Sunagatullin, R. Z., Khasbiullin, I. I., & Zverev, F. S. (2020). Study of oil-gas condensate mixture to effectiveness evaluation of its use in pipeline transport system. Science and technology of pipeline transportation of oil and oil products, 10(5), pp. 506-513. (In Russian). DOI: 10.28999/2541-9595-2020-10-5-506-513
20. Tronov, V. P. (1970). Mekhanizm obrazovaniya smoloparafिनovykh otlozheniy i bor'ba s nimi. Moscow, Nedra Publ., 190 p. (In Russian).
21. Wiehe, I. A., Kennedy, R. J. (1999). Process for blending potentially incompatible petroleum oils. United States Patent. No 5871634. (In English).

Сведения об авторах

Дерюгина Ольга Павловна, к. т. н., доцент кафедры переработки нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: derjuginaop@tyuiu.ru

Трапезников Евгений Александрович, студент, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Information about the authors

Olga P. Deryugina, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Oil and Gas Processing, Industrial University of Tyumen, e-mail: derjuginaop@tyuiu.ru

Evgeny A. Trapeznikov, Student, Industrial University of Tyumen